

# АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА МОЛНИЕЗАЩИТЫ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ В СРЕДЕ

# ElectricS Storm



Человек настолько тесно связан с окружающим миром, что есть все основания говорить о существовании особой системы — "человек-среда обитания". О бытовой составляющей среды обитания каждый из нас, конечно, может поведать многое. Но есть еще одна сфера, в которой взаимосвязь всех компонентов этой системы (природы, промышленных объектов и производственно-технологических процессов и т.д.) выявляется наиболее ярко — сфера производства. Безусловно, такая множественность взаимодействующих факторов приводит к многократному повышению риска для жизни и здоровья человека. Защите от природной стихии на производстве и посвящена эта статья.

**Н**евозможно оспаривать тот факт, что безопасность трудовой деятельности человека в огромной степени зависит от учета влияния природной среды (в том числе ее климатических и геофизических аномалий в виде молний, тайфунов, процессов газовой выделений из горных пород, пожаров и т.п.). Особенно важно учитывать такие факторы еще на этапе проектирования промышленных объектов строительной, горнопромышленной и других отраслей.

По мере увеличения темпов промышленного строительства и колоссального усложнения технологических процессов требования к срокам проектирования и возведения промышленных объектов постоянно

возрастают. Неудивительно, что организации всё шире применяют программные средства автоматизации проектирования, позволяющие создавать проектную документацию не только в самые короткие сроки, но и с высочайшим качеством.

Сказанное прежде всего относится к проектированию конструкций защиты, поскольку речь идет о безопасности человека, о его работоспособности, здоровье и самой жизни.

Предлагаем вашему вниманию информацию об одной из новейших разработок компании Consistent Software — системе ElectricS Storm, которая состоит из двух подсистем и предназначена для автоматизированного проектирования молниезащиты и заземления зданий и сооружений.

## Молниезащита

Грозы на нашей планете происходят непрерывно. Специалисты подсчитали: каждую секунду в землю вонзается до сотни молний — мощных (до 200 тысяч ампер!) ступков энергии. Сколько бед может принести эта стихийная сила, которая долгие тысячелетия считалась непобедимой, хорошо представляет себе каждый.

Эффективное средство для предохранения строений от молний было найдено знаменитым ученым, создателем американской конституции Бенджаминем Франклином, который изобрел молниезащиту или, согласно названию, унаследованному из XVIII века, — громоотвод.

Два с лишним века человечество совершенствовало это изобретение, и к настоящему времени система молниезащиты представляет собой сложный комплекс мероприятий и устройств, предназначенных для обеспечения безопасности людей, предохранения зданий, сооружений, оборудования и материалов от взрывов, загораний и разрушений, вызванных воздействием молнии. При этом в каждом конкретном случае необходимо учитывать специфические особенности защищаемого объекта.

В России проектирование и изготовление молниезащиты для зданий и сооружений выполняются сегодня в соответствии с требованиями СО 153-34.21.122-2003. По степени необходимой защиты все здания и соору-

## Георг-Вильгельм Рихман



Среди знаменитых российских физиков XVIII в. Георгу-Вильгельму Рихману по праву принадлежит особое место. Он родился 11 июля 1711 г. в г. Пернове (Пярну), начальное и среднее образование получил в Ревеле (ныне Таллин).

Юноша продолжил свое образование в немецких университетах: сначала – в Галле, а затем в Йене, где с особым старанием изучал физику и математику. Желая более обстоятельно освоить эти науки, Рихман уезжает в Петербург. 22 июля 1735 г. юноша представляет президенту Петербургской академии наук пробное сочинение по физике и просит принять его в академию. Просьба была удовлетворена, и 13 октября 1735 г. Рихмана зачислили студентом академии "для занятий физическими науками".

В 1740 г. как способный и хорошо подготовленный физик Рихман избирается адъюнктом, а через год – "за особливые свои труды и прилежание" – вторым профессором кафедры теоретической и экспериментальной физики.

В 1744-м Георг Рихман избирается главой кафедры физики и становится руководителем физического кабинета Академии наук, который благодаря его стараниям и энергии стал в середине XVIII в. настоящим центром отечественной научно-исследовательской и учебной деятельности. Ломоносов часто посещал этот кабинет и до основания в 1748 г. своей химической лаборатории учился здесь искусству экспериментирования, осваивал навыки конструирования физических приборов. Рихман живо интересовался электричеством, проводил многочисленные опыты. В его распоряжении находилось собрание электрических машин

(разумеется, не в современном понимании этого слова – речь идет об электростатических машинах типа машины Герике, подобной сегодняшним школьным электростатическим машинам), многие из которых были выполнены знаменитым создателем "лейденской банки" Мушенбреком. Однако эксперименты, производившиеся с этими приборами, оценить цифрами было невозможно, все явления приходилось описывать лишь качественно. Так, Ломоносов разработал своеобразную шкалу качественной оценки электричества: "синеватые искры", "ясные синеватые", "весьма красные", "вишневые".

Величайшая историческая заслуга Рихмана заключается в том, что он был одним из первых, если не первым, которому принадлежит честь основания точной науки об электричестве. Именно он впервые измерил электрическую силу молнии при помощи сконструированного им так называемого "электрометра", подробное описание которого было приведено в "Петербургских ведомостях" №50 за 1752 год:

"Понеже в разных ведомостях объявлено важнейшее изобретение, а именно: что электрическая материя одинакая с материей грома, то здешний профессор физики г. Рихман удостоверяет себя о том и некоторых смотрителей следующим образом. Из середины дна бутылочного выбил он иверень, сквозь бутылку продел железный прут длиною от 5 до 6 футов, толщиною в один палец и заткнул горло бутылки коркою. После велел он из верхушки кровли вынуть черепиц и пропустил туда прут, так что он от 4 до 5 футов высунулся, а дно бутылки лежало на кирпичках. К концу прута, который под кровлю из-под дна бутылочного высунулся, укрепил он железную проволоку и вел ее до среднего апартамента все с такою же осторожностью, чтобы проволока не коснулась никакого тела, проводящего электрическую силу. Наконец, к крайнему концу проволоки приложил он железную линейку, так что она перпендикулярно

вниз висела, а к верхнему концу привязал шелковую нить, которая с линейкой параллельно, а с широчайшею стороною линейки в одной плоскости висела <...> и начал уже сначала одного месяца по вся дни следовать, отскочит ли нить от линейки и произведет ли потому какую электрическую силу, токмо не приметил ни малейшей перемены в нити... Чего ради с превеликою нетерпеливостью ожидал грома, который 18 июля в полдень и случился. Гром, по видимому, был не близко от строения, однако ж он после первого удара тотчас приметил, что шелковая нить от линейки отскочила...".

На аналогичной установке Ломоносов зафиксировал различные искры, которые свидетельствовали о наличии в атмосфере электрического поля и при отсутствии молнии и грома. Рихману же ничего подобного наблюдать не удалось, поэтому между учеными возникли разногласия.

На 6 сентября 1753 года было назначено ежегодное публичное собрание Академии наук, где оба ученых должны были выступать с докладами по атмосферному электричеству. Друзья-оппоненты стремились обзавестись надежными доказательствами правильности своих теорий. Времени оставалось мало, поэтому нельзя было пропускать ни одной грозы. 26 июля на Васильевский остров, где жили Ломоносов и Рихман, стала надвигаться гигантская туча. Ученые поспешили к своим приборам.

"Сперва, – пишет Ломоносов, – не было электрической силы, но через некоторое время она появилась и из проволоки стали выскакивать искры при приближении к ней проводящих предметов. Внезапно гром чрезвычайно грянул в то самое место, как я руку держал у железа, и искры трещали... Все от меня прочь бежали, и жена прислала, чтобы я прочь шел". Кончилось тем, что решительная жена Ломоносова потребовала, чтобы муж отошел от приборов и сел за стол: были поданы щи. И ученый подчинился. "Да и электрическая сила почти перестала".

Рихман же, увидев первые признаки грозы, побежал домой вместе с гравером Соколовым, который должен был зарисовать опыты.

Прибежав домой и даже не переменяв парадного костюма, ученый устремился к своей установке. Шелковинка электрометра находилась в вертикальном положении, то есть именно в таком, в котором она и должна была быть по представлениям Рихмана: молнии не было, а "гром еще далеко отстоял".

"Теперь нет еще опасности, – сказал Рихман Соколову, – однако когда туча будет близко, то может быть опасность".

Ученый повернулся к электрометру, и тут прямо в лоб его ударил голубоватый огненный шар. Раздался страшный грохот, и оба – Рихман и Соколов – упали, первый – на сундук, второй – на пол.

Жена Рихмана, услышав грохот в сенях, вбежала туда и увидела ученого бездыханным, а гравера оглушенным. Она попыталась восстановить мужу дыхание, но тщетно. За лекарем и за Ломоносовым были посланы люди. Ломоносов писал впоследствии: "Прибывший медицины и философии доктор Х.Г. Кратценштейн растер тело ученого унгарской водкой, отворил кровь, дул ему в рот, зажав ноздри, чтобы тем дыханием привести в движение. Тщетно. Вздохнув, признал смерть...".

Смерть Рихмана оказала очень сильное впечатление на ученых того времени. Ломоносов высказывал опасение, что она охладит пыл к наукам не только у не слишком храбрых ученых, но и у многочисленных меценатов. Так, в своем письме к графу Шувалову он писал: "Чтобы сей случай не был протолкован противу приращения наук, вспокорнейше прошу миловать науки".

Однако гибель Георга Рихмана не была напрасной. Начатые им исследования и его трагическая смерть стали непосредственным толчком для появления средств молниезащиты – сегодня хорошо всем известных громоотводов.

(По материалам сайта [www.inventors.ru](http://www.inventors.ru))

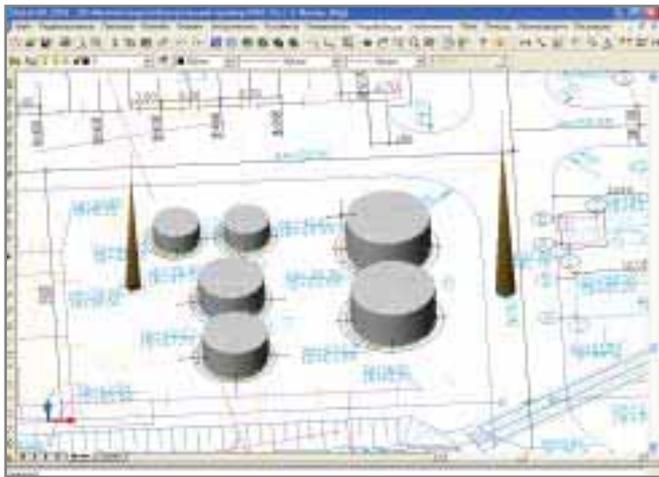


Рис. 1



Рис. 2

жения подразделяются на обычные и специальные. Обычные объекты представляют собой жилые и административные строения, а также здания и сооружения, высотой не более 60 м, предназначенные для торговли, промышленного производства, сельского хозяйства. Специальные объекты – это:

- объекты, представляющие опасность для непосредственного окружения;
- объекты, представляющие опасность для социальной и физической окружающей среды (то есть те, которые при поражении молнией могут вызвать вредные биологические, химические и радиоактивные выбросы);
- прочие объекты, для которых может предусматриваться специальная молниезащита: например, строения высотой более 60 м, игровые площадки, временные сооружения, строящиеся объекты.

Для специальных объектов молниезащиты минимально допустимый уровень надежности защиты от прямых ударов молнии устанавливается в пределах 0,9-0,999 в зависимости от степени его общественной значимости и тяжести ожидаемых последствий.

Подсистема расчета молниезащит (PM3) системы ElectricCS Storm реализует:

- автоматизированный расчет и построение зон защит молниеотводов и горизонтальных сечений этих зон;
- расчет многократных стержневых и/или тросовых молниеотводов.

Расчет и построение зон защит могут выполняться в соответствии с требованиями одного из следующих руководящих материалов:

- СО 153-34.21.122-2003 "Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций";
- РД 34.21.122-87 "Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений";
- СПЭ №212-э "Заземление и молниезащита на тепловых и атомных электростанциях. Справочник по проектированию тепловых электростанций и тепловых сетей", – Теплоэлектропроект, 1974.

Подсистема PM3 предоставляет пользователю ряд уникальных возможностей, неосуществимых средствами других систем расчета молниезащит:

- просмотр в трехмерном виде (аксонометрии) зданий и сооружений, требующих молниезащиты, зон защиты, полученных в результате расчета, а также их соотношений;
- получение сечения зон молниезащиты на любой высоте (по умолчанию – на высоте сооружения с максимальной высотой);
- графический ввод цифровой информации (координат зданий, сооружений и устройств молниезащиты);
- работа на плоском генплане с отображением на нем результатов расчета (формирование выходно-

го документа проектирования молниезащиты).

Зоной защиты молниеотвода считается пространство, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с надежностью не ниже заданного значения. Необходимый тип зоны молниезащиты здания или сооружения определяется в соответствии с его классификацией по взрыво- и пожароопасности. Наименьшей и постоянной надежностью обладает поверхность зоны защиты. В глубине зоны надежность выше.

Молниеотводы конструктивно подразделяются на стержневые (вертикальные), тросовые (протяженные) и сетки. В подсистеме PM3 расчеты выполняются для одиночных или многократных<sup>1</sup> стержневых и тросовых молниеотводов.

Исходными данными для расчета являются списки примитивов зданий и сооружений и молниеотводов.

В список примитивов зданий и сооружений входят, например, здание (параллелепипед), резервуар (вертикальный цилиндр), цистерна (горизонтальный цилиндр), труба (усеченный конус) и сфера (шар). В качестве примитивов для изображения молниеотводов применяются стержень и трос.

Возможности программы иллюстрируют приведенные рисунки.

На рис. 1 представлен пример просмотра исходных данных для расчета молниезащиты резервуаров различной высоты двумя стержневыми молниеотводами. Рис. 2 иллюстри-

<sup>1</sup> Многократный молниеотвод – несколько стержневых или тросовых молниеотводов, образующих общую зону защиты.

рует просмотр зон молниезащиты двумя стержневыми молниеотводами с надежностью 0,995 (следует обратить внимание, что один из резервуаров выходит из зоны защиты), а рис. 3 – просмотр параметров этого резервуара. На рис. 4 – просмотр зон молниезащиты с надежностью 0,95, которые закрывают упомянутый ре-

зервуар. Рис. 5 представляет сечения зон с надежностью 0,995 и 0,95 на высоте защищаемого резервуара – сечение зоны 0,995 показано красным, а зоны 0,95 – черным. Резервуар входит только в зону 0,95.

На рис. 6 приведен пример просмотра зон молниезащиты с надежностью 0,995 для нескольких резер-

вуаров. Используются три стержневых молниеотвода, причем резервуар 3.7-2 входит в обе зоны защиты (0,995 и 0,95). На рис. 7 – сечения обеих зон на высоте защищаемого резервуара.

Рис. 8 представляет собой пример просмотра исходных данных для расчета молниезащиты здания тросо-

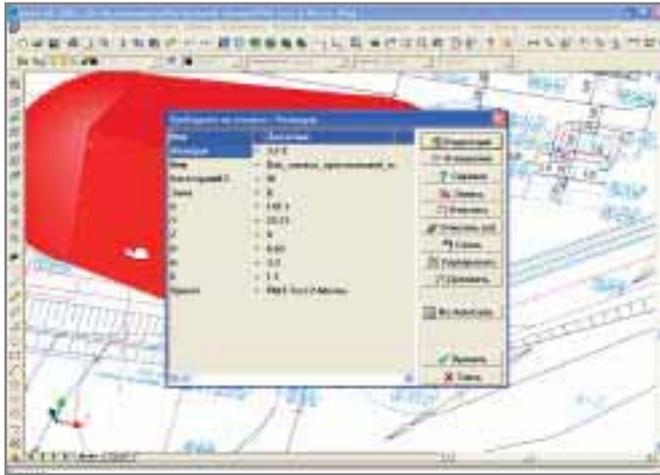


Рис. 3

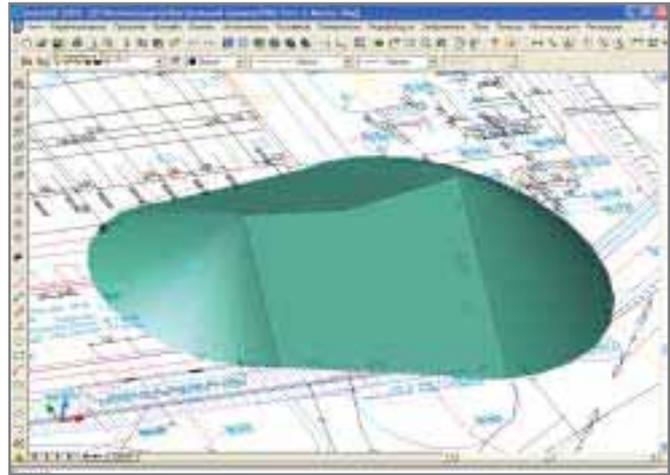


Рис. 4

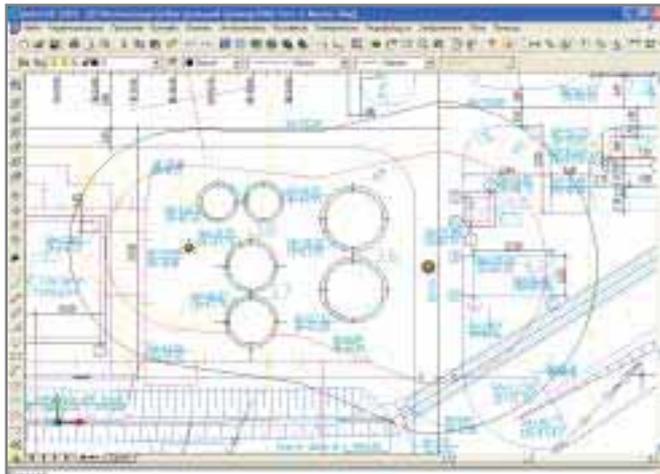


Рис. 5



Рис. 6

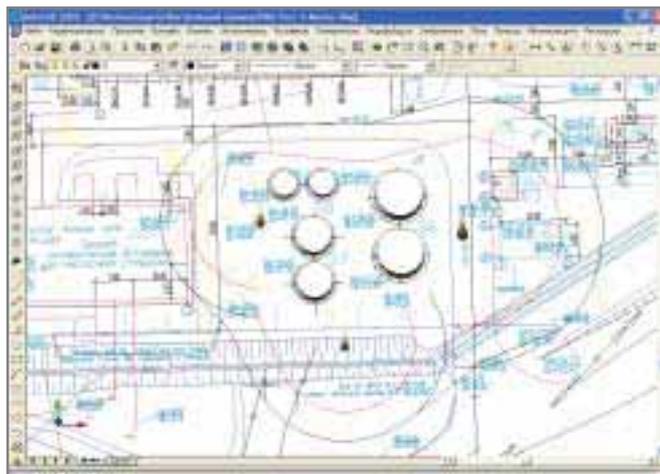


Рис. 7

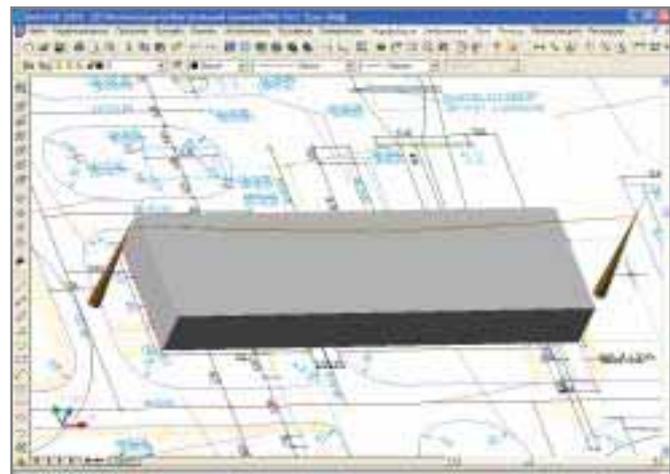


Рис. 8

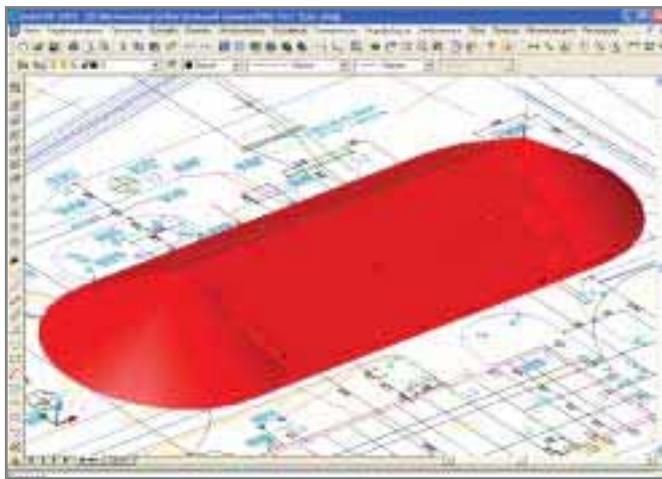


Рис. 9

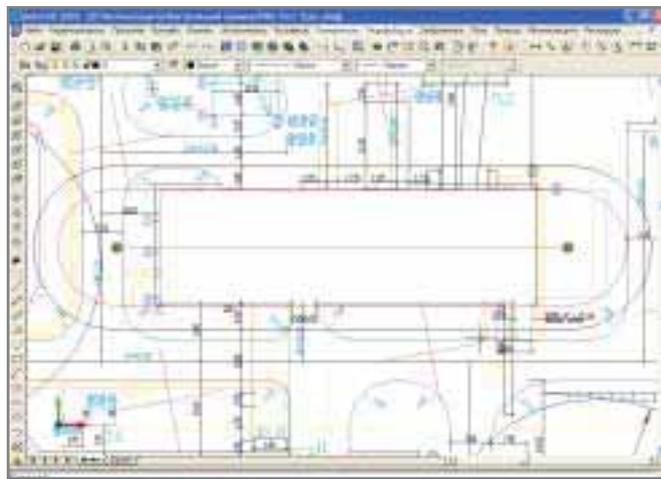


Рис. 10

вым молниеотводом; на рис. 9 показаны зоны защиты с надежностью 0,995 с использованием такого молниеотвода, а на рис. 10 – сечения двух зон (0,995 и 0,95) на высоте защищаемого здания.

На рис. 11 предложен пример просмотра исходных данных для расчета многостержневой молниезащиты компрессорной станции, на рис. 12 – просмотр зон молниезащиты с надежностью 0,995, на рис. 13 – молниезащиты с надежностью 0,95.

### Защитное заземление

Электрический ток используется во всех сферах деятельности человека как наиболее удобный в транспортировке и применении источник энергии. Однако, несмотря на несомненные преимущества применения электроэнергии, нельзя игнорировать ее опасность. Значительно снизить риск поражения человека электрическим током позволяет заземление.

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение металлических нетоковедущих частей оборудования с землей или ее эквивалентом с целью снижения до безопасной величины напряжения, появившегося на них в результате замыкания. Это обеспечивает снижение напряжения прикосновения и, как следствие, тока, проходящего через тело человека при прикосновении к корпусу.

О том, что электричество воздействует на человека, известно давно. Одно из первых свидетельств о таком воздействии оставил Марат – видный деятель Великой французской

революции, однако лишь в 1800 году В.В. Петров доказал, что электрический ток смертельно опасен.

Впервые описание электропоражения как несчастного случая было сделано М.В. Ломоносовым в середине XVIII века (26 июля 1752 г.), когда от разряда молнии погиб профессор Георг-Вильгельм Рихман.

Приведем письмо великого русского ученого к графу Шувалову, в подчинении которого находилась Академия наук: "Что я ныне к Вашему превосходительству пишу, за чудо почитайте, для того, что мертвые не пишут. Я не знаю, жив ли я или мертв. Я вижу, что господина профессора Рихмана громом убило, в тех же точно обстоятельствах, в которых я был тож самое время. Сего июля в 26 число в первом часу по полудню поднялась громадная туча от Норда. Выставил я громовую машину и дождался электрических искр от проволоки, и к тому пришла моя жена и другие, и как я, так и она бесперестанно до проволоки дотыкались, за тем, что я хотел иметь свидетелей разных цветов огня <...>. Только я за столом посидел несколько минут, внезапно двери отворил человек покойного Рихмана весь в слезах и в страхе, запыхавшись, чуть выговорил: "Профессора громом зашибло", – удар от проволоки пришел ему в голову, где красно-вишневое пятно на лбу, а вышла из него громовая электрическая сила на ногу в доски. Пальцы и ноги сини, и башмак разодран, а не прожжен".

В 1862 году произошел описанный французом Леруа-де-Мюркером первый производственный несчаст-

ный случай от постоянного тока, а в 1882-м австрийский ученый Елинек рассказал о первой электротравме от переменного тока.

В нашей стране законодательные документы по технике безопасности при применении электроэнергии появились еще в 1898 г. Сейчас такая регламентация осуществляется "Правилами эксплуатации электроустановок потребителей" (ПЭЭП), "Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей" (ПТБ), "Правилами устройства электроустановок" (ПУЭ), ГОСТ, ССБТ и другими нормативными документами.

В настоящее время поражение электрическим током на производстве составляет около 3% всех травм. Наибольшее число электротравм приходится на сельское хозяйство (13%), строительство (9,3%), энергетику (14,4%) и машиностроение (5,4%).

Проходя через тело, электрический ток оказывает на человека тепловое, химическое и биологическое воздействие. При этом нарушаются основные физиологические функции (дыхание, работа сердца, обмен веществ), происходит электролиз крови и т.д. Особая опасность заключается в том, что человек не может посредством органов чувств выявить напряжение на расстоянии и обнаруживает его лишь в момент поражения...

Подсистема расчета заземляющих устройств (РЗУ) системы ElectricStorm предназначена для автоматизированного расчета ис-

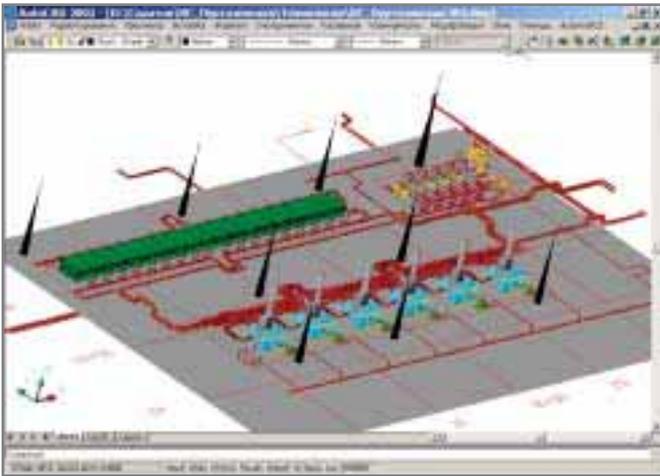


Рис. 11

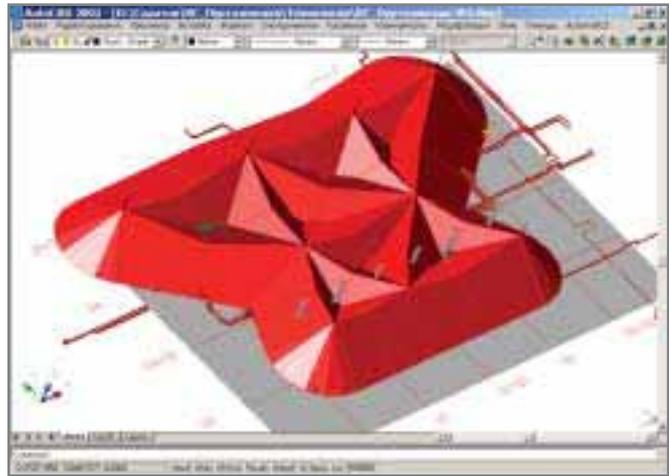


Рис. 12

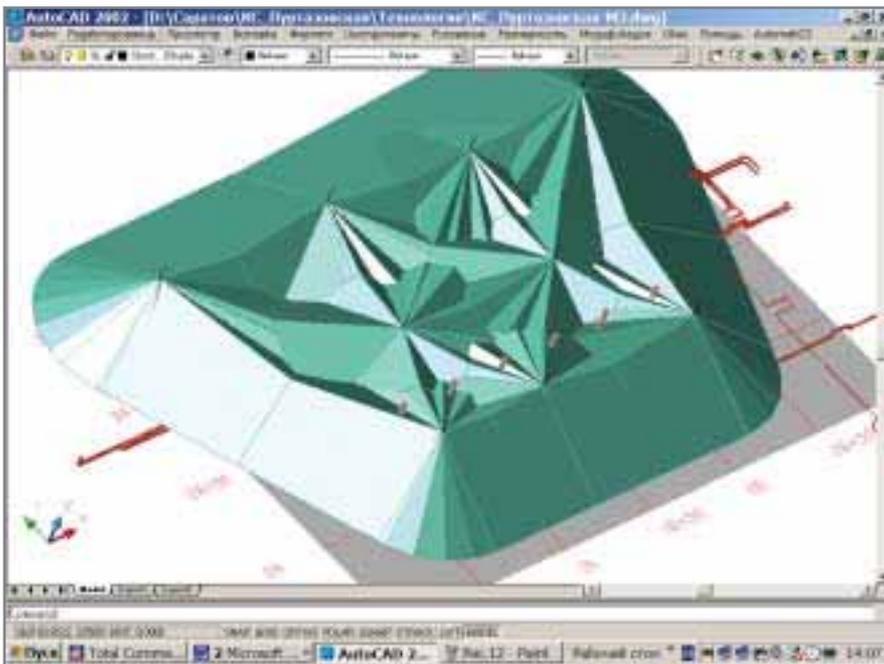


Рис. 13

кусственных и естественных заземлителей.

Расчет заземления состоит из расчетов сопротивления растеканию и напряжения прикосновения. Сопротивление растеканию может рассчитываться по методу коэффициентов использования или методом Оллендорфа-Лорана.

Расчет заземления производится на основе "Руководящих материалов по проектированию заземляющих устройств электрических станций и подстанций 3-750 кВ переменного тока"<sup>2</sup>.

Исходными данными для расчета заземляющих устройств являются:

- характеристики грунта (климатическая зона, толщина верхнего слоя, тип грунтов верхнего и нижнего слоя, удельное сопротивление и др.);
- общие данные (глубина заложения заземлителей, высшее напряжение электроустановки, ток однофазного КЗ на землю, режим работы нейтрали и др.);
- группа искусственных заземлителей (горизонтальных и вертикальных);

- естественные заземлители (система "трос — опора", фундаменты, оболочки кабелей, другие внешние заземлители).

Применение системы ElectricStorm позволяет:

- овладеть теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для организации безопасных производственных процессов в системе "производство — человек — окружающая среда";
- значительно повысить производительность труда проектировщиков в части расчета конструкций молниезащит и защитных заземлителей;
- повысить качество проекта за счет проведения многовариантных расчетов и выбора оптимального решения.

Минимальные системные требования:

- операционная система — Microsoft Windows NT 4.0;
- процессор — Pentium II;
- оперативная память — 64 Мб;
- Microsoft Word 2000;
- AutoCAD 2000.

*Александр Салин,  
Ивановский государственный  
энергетический университет  
Вячеслав Серов,  
"Зарубежэнергопроект"  
Сергей Третьяков,  
CSoft  
Тел.: (095) 913-2222  
E-mail: tretjakov@csoft.ru*

<sup>2</sup>Энергосетьпроект, 1987 (№ 12740ТМ-Т1).